

CONFERENCIA SOBRE EL TEMA
FUNDAMENTOS. METODOLOGIA Y APLICACIONES
DE LA
MICROBIOLOGIA ECOLOGICA DEL SUELO

La presencia de microorganismos en el suelo pasa, generalmente., desapercibida y como no se los ve. no suele atribuírsele mayor importancia. Algunas cifras, no obstante, servirán para demostrar que los microbios son. en realidad, muy numerosos en el suelo, así como también, aunque menos, en el agua y en el aire, donde desempeñan un papel excepcionalmente importante, hasta el punto de poder afirmarse que *sin microbios la vida no podría existir en la naturaleza.*

Se ha confirmado, reiteradamente, que un suelo medianamente fértil, capaz de mantener un vacuno por hectárea contiene, en su capa arable, una cantidad de microorganismos de peso equivalente. Para simplificar los cálculos que siguen, consideremos una población microbiana uniforme compuesta de bacterias de 2 micrones de largo cada uno y de 1 mg. de peso por cada 200 millones y tomando la modesta cifra de 500 kg. de carga animal por Ha. se llega a la suma de medio trillón de células que alcanzan, unidas en fila india, la longitud de 1.000 millones de km., suficiente para cubrir 250 veces la distancia de 400.000 Km. a la luna, lo que insumiría más de 3 años de un viaje continuado, en un vehículo espacial de futuro modelo, con combustible atómico suficiente.

Si Adán, como primer habitante de nuestro planeta, suponiéndolo dotado de inmortalidad por su origen divino, se hubiera puesto a contar la población bacteriana de una sola hectárea como la aludida, a razón de 150 individuos por minuto, con la cómoda velocidad del golpeteo de un volante de reloj común y marcando con palotes de 10

en 10 para evitar diferencias de tiempo con el aumento de las cifras, en la actualidad, después de 600.000 años de la era prehistórica en que ha pedido calcularse la aparición de la vida humana, tan sólo habría contado los que corresponden a 1 m², faltándole aún 9.999 períodos análogos de 600.000 años cada uno. para finalizar la tarea emprendida de contar los 500 mil millones de millones de células microbianas contenidas en la capa arable de una sola Ha. de un suelo medianamente productivo.

En conocimiento de que los microbios pueden considerarse, del punto de vista bioquímico, como bolsitas de enzimas, que presiden toda clase de transformaciones de sustancias orgánicas e inorgánicas, cabe admitir que la presencia de media tonelada de ese material distribuido en 1 hectárea no podrá dejar de producir efectos que afecten, en alguna medida, su capacidad de producción, circunstancia que justifica, ampliamente, la necesidad imperiosa de incluir el factor microbiológico entre los de orden físico y químico, en todo estudio integral en que se analicen problemas de fertilización y de productividad del suelo agrícola.

A continuación se esbozarán los tópicos más importantes de esta exposición, correspondientes a las tres partes en que se ha dividido, en el orden que figuran en su título.

I — FUNDAMENTOS

La noción de las relaciones de los microbios con el medio ambiente, que constituye el objetivo de la Ecología, se encuentra ya expresada, implícitamente, en las primeras cartas dirigidas por Leeuwenhoek, descubridor del maravilloso mundo de los microbios, a la Sociedad Real de Londres, en 1675 y 1676, en las que se describen diversas formas microbianas en diferentes ambientes examinados. Posteriores observaciones de Hooek, seguidas de otros autores, no hacen más que confirmar este acerto, hasta que, en las memorables investigaciones de Pasteur, efectuadas en 1877 y 1878, hallan su expresión experimental cuando demuestra que la bacteria del carbunco, inoculada a animales receptivos, produce la infección, pero no lo hace cuando está acompañada de otros microorganismos banales y cuando presenta en forma espectacular a la Academia de Ciencias, la demostración de que las aves, naturalmente inmunes al carbunco, pueden contraerlo si se mantienen a una temperatura inferior a unos 2

a 3° C de la normal, después de la inoculación y que los conejos, por otra parte, que son susceptibles, quedan sin infectarse si se los tiene a una temperatura entre 41 y 42° C, poniendo así en evidencia la influencia de factores de orden físico, químico o biológico en las interrelaciones que se establecen entre los organismos.

En 1883. Roberto Koch, descubridor de la bacteria de la tuberculosis, fue el primero en efectuar un análisis microbiológico del suelo, obteniendo así el primer cómputo de la distribución de microorganismos en ese ambiente natural, utilizando su método de las “placas” de vidrio con gelatina o agar nutritivos que, completado poco más tarde, con el uso de las cajas introducidas por su discípulo Petri, sigue aún hoy día utilizándose en todos los laboratorios de microbiología.

En el tiempo transcurrido desde la segunda mitad del siglo XIX hasta la primera del presente siglo, fueron efectuándose una serie ininterrumpida de descubrimientos en el mundo de los microbios y, a pesar de que muchos atañen a la microbiología del suelo, fueron superados, no sólo en cantidad sino y sobre todo en trascendencia, los relativos al aspecto de la patología humana, veterinaria y vegetal, quedando aquellos relegados en segunda línea, a la espera de circunstancias más propicias a su florecimiento.

A fin de servir como jalones para fijar las ideas y aquilatar las necesidades y posibilidades de su desarrollo en las condiciones actuales del progreso realizado comparativamente con otras áreas de la microbiología, me limitaré a mencionar tan sólo, los más importantes descubrimientos acaecidos en el campo de la microbiología del suelo hechos en la época anteriormente señalada:

Aislamiento de microorganismos específicos de la fijación del nitrógeno atmosférico, en simbiosis radicícola con plantas leguminosas y de otros asimbióticos anaerobios y aerobios. Establecimiento del principio de la autotrofia quimiosintética por bacterias carentes de pigmentos fotosintetizantes, capaces de asimilar el carbono inorgánico del CO₂ del aire y transformarlo en carbono orgánico. Aislamiento de las bacterias autotróficas del proceso de la nitrificación. Aislamiento de las bacterias específicas de la fermentación o de otros tipos de transformación de la celulosa, en condiciones anaeróbicas o aeróbicas, con formación de compuestos orgánicos intermedios o hasta la desintegración total en CO₂ y H₂O. Aislamiento de bacterias

autotróficas oxidantes del Azufre o de compuestos reducidos o menos oxidados de ese elemento, llevándolo hasta el estado de ácido sulfúrico-

Resulta interesante observar que en estas adquisiciones fundamentales, de gran importancia para la mejor comprensión de algunos procesos que rigen la producción agropecuaria, han intervenido muy pocos investigadores, entre los que sobresalen dos:

Beijerinck y Winogradsky, considerados como los padres de la microbiología del suelo, acompañados de otros, como Omeliansky, Hutchinson y Waksman, por no citar más que los que realizaron contribuciones decisivas, hasta la consolidación de esa disciplina como una rama especializada de la Microbiología, durante los primeros 35 años de su evolución que van de 1888 a 1922.

Un segundo florecimiento de la Microbiología del suelo se produjo entre los años 1925 3^r 1945, lapso de tiempo en que Winogradsky, luego de su alejamiento de Rusia, comenzó su segundo período de actividad científica en el Instituto Pasteur de París, donde le fue ofrecida la posibilidad de continuar sus investigaciones, que culminaron, en 1949, con la publicación de un grueso volumen con sus obras completas.

El significado de la nueva metodología desarrollada por Winogradsky en esta ocasión, podrá valorarse mejor algo más adelante, cuando se haya examinado el efecto decisivo que ha tenido sobre los fundamentos científicos adquiridos con su utilización, en que pueden apoyarse las aplicaciones prácticas.

Al enfocar el problema del estudio microbiológico del suelo, respetando sus condiciones ecológicas naturales, deben considerarse algunos aspectos básicos que permiten orientar su adecuado desenvolvimiento, asegurar la correcta interpretación de sus resultados y facilitar la utilización de sus posibles aplicaciones prácticas.

Los dos principios fundamentales que se especifican a continuación, han servido de base para elaborar una metodología apropiada para el estudio de la microbiología del suelo realizado con sentido ecológico y, aunque fueron enunciados por Winogradsky hace ya más de 25 años, no parecen haber sido valorados aún en su verdadera magnitud e importancia.

Pueden sintetizarse de la manera siguiente:

1") *Eliminación del uso de cultivos puros*, para evitar las graves incorrecciones que pueden cometerse si se pretende proyectar a las aplicaciones prácticas los resultados obtenidos en estudios hechos con cultivos que se han mantenido al abrigo de las actividades competitivas del resto de la cuantiosa y polimorfa población microbiana habitual en el suelo, con consecuencias, frecuentemente lamentables y absurdas.

2") *Adopción, en cambio, de los cultivos "electivos" o "espontáneos"* para imitar las condiciones naturales en que se verifican, realmente, las transformaciones químicas que se realizan en el suelo, como expresión de la capacidad específica, de cada grupo funcional, independientemente.

Por mi parte, he encontrado sumamente práctico utilizar, a manera de aforismo, la siguiente frase, que condensa lo más esencial que conviene tomarse en cuenta al considerarse cualquier problema de microbiología ecológica: *"El proceso primero, el microbio después, pero no al revés"*. Esta frase, en su forma simplista, encierra una seguridad de éxito, puesto que nunca ha fallado desde el nacimiento de la microbiología como ciencia y se halla implícita, en los trabajos de Pasteur, Koch, Beijerinck, y Winogradsky, por no citar más que el nombre de sus cuatro columnas fundadoras.

El estado actual del desarrollo de la microbiología del suelo y, en especial modo, el relativo a su aspecto ecológico, entiendo que necesita, urgentemente, de una acción decisiva, encaminada a la rectificación de su trayectoria que, en primer término consiste en: precisar la formulación de sus objetivos fundamentales; introducirle las substanciales modificaciones metodológicas que permitan evitar las aberrantes distorsiones que sufre en la actualidad, e insuflarle un nuevo hálito de actividad creadora cuyas consecuencias finales puedan traducirse en aplicaciones prácticas de significación económica.

Espero que estas pocas reflexiones puedan servir, al menos, para iniciar una comunicación espiritual, base de todo progreso colectivo, entre los cultores de esta disciplina, no solamente entre los países latino-americanos en desarrollo, que tanto la necesitan y que pueden obtener mucho de sus aplicaciones en la esfera agropecuaria, sino también entre los más evolucionados, como en Europa y Estados Unidos de Norteamérica donde, como he podido comprobarlo en diversos viajes de estudio realizados durante los últimos cinco años, se está produ-

ciendo una franca reacción favorable hacia el cultivo de esta rama de la microbiología, ocasionada por presionantes circunstancias de orden ecológico y manifestada de diversas maneras inequívocamente.

II — METODOLOGIA

De la copiosa cantidad de métodos utilizables para el estudio de los muy diversos tipos de microorganismos que se han encontrado en el suelo, solo aludiré, por razones de brevedad, a los recomendados por destacadas autoridades en la materia, como los medios líquidos, preconizados por Pochon y sus colaboradores en el Instituto Pasteur de París, los solidificables con silico-gel utilizados casi exclusivamente por Winogradsky, con anterioridad, en la misma institución y. finalmente, a los solidificables con agar usados, con mayor frecuencia, en casi todos los laboratorios de microbiología, especialmente en Estados Unidos de Norte América y en muchos países de Europa.

Por razones de brevedad, me limitaré a puntualizar ante todo, a continuación, solamente dos recomendaciones relativas a la metodología más adecuada al estudio microbiológico del suelo, que cumplen con los preceptos ecológicos aludidos anteriormente, las que, unidas a los dos principios fundamentales de la misma índole expuestos en el capítulo anterior, constituyen una tetralogía conceptual que, luego de no poco tiempo dedicado a esta clase de estudios, he llegado al convencimiento de que, con su aplicación pueden obtenerse, con mayor facilidad, la más amplia, más coherente y más completa información que pueda suministrar el estudio de las actividades microbiológicas del suelo agrícola. Ellas son:

1 °) *Todas las operaciones de enriquecimiento deberán efectuarse en las mismas muestras del suelo de origen*, su medio natural y no, como se lo hace generalmente, en medios de cultivo y condiciones ecológicas artificiales.

2") *La incubación de las muestras de tierra debe efectuarse en condiciones físicas idénticas*, de estructura, aireación, humedad y temperatura, junto con sus respectivos controles y. luego de un cierto período de tiempo se someterán al *examen analítico: microbiológico y químico*, que se considere apropiado efectuar, a fin de apreciar, cualitativa y cuantitativamente, el nivel de desarrollo de los diferentes procesos microbiológicos que interesa estudiar.

Para los enriquecimientos de microorganismos efectuados en la misma tierra, se utilizan porciones del suelo en estudio, sin otro agregado que la cantidad de agua necesaria y las sustancias “energéticas” que provocan el desarrollo de los grupos de microorganismos específicos, causantes de los procesos que se desea estudiar. En cada recipiente se produce así, el desarrollo masivo tan solo del grupo de microorganismos que pueden crecer a expensas del material energético agregado y en la cantidad máxima posible que permite el total de las condiciones ecológicas: físicas, químicas y biológicas existentes, obteniéndose, de este modo, una información mucho más de acuerdo con la realidad que mediante la utilización de cualquier otro método de laboratorio utilizable con igual propósito

En nuestro laboratorio de Microbiología del Suelo de la Facultad de Agronomía y Veterinaria, se han adoptado, por razones que no es del caso referir aquí, los principios de la metodología desarrollada por Winogradsky para el estudio de la microbiología ecológica del suelo, con algunas modificaciones que la simplifican y facilitan su ejecución.

La modificación más importante introducida, en unión con mis colaboradores, consiste en una aplicación propuesta por Beijerinck en 1914, en que se usa una fina capa colocada sobre un medio de cultivo solidificable, la que contiene los nutrientes, el material de siembra y la substancia solidificable. En nuestra modificación al método de Winogradsky se utilizan dos capas de silico-gel: la inferior, más gruesa, de alrededor de 1 /2 cm. de espesor, no contiene otro agregado más que agua destilada, que actúa de esta manera, como diluyente de los nutrientes contenidos en la capa fina superior de sólo alrededor de 1 mm. de espesor, cuya concentración de sales queda condicionada por la cantidad necesaria de silicatos alcalinos usados, los que sólo gelifican a niveles superiores a la 5a. o. al máximo la 6a. parte de su solución N/l. Es muy importante tomar en cuenta este último punto para ajustar la dilución más conveniente de la mezcla de ácidos: fosfórico, clorhídrico y sulfúrico y, ocasionalmente también nítrico, necesaria para producir, una vez neutralizada por los silicatos, una buena gelificación, con la menor cantidad posible de ácido silícico y suficientemente firme como para permitir un desarrollo superficial satisfactorio de los microorganismos en estudio.

El método de Winogradsky fue comenzado a aplicarse, modificado, en sucesivos trabajos parciales realizados, desde hace 10 años

sobre bacterias mirificantes, microorganismos celulolíticos y bacterias «simbióticas aerobias fijadoras del nitrógeno atmosférico por mis colaboradores Erejomovich, Murcia Verdú y Sandbank y Amor Asunción.

El trabajo de conjunto, iniciado y completado en mi laboratorio fue, finalmente, presentado al Primer Coloquio Latinoamericano de Biología del Suelo, realizado en Bahía Blanca, en 1965 y vertido luego al inglés, con algunas modificaciones de las fórmulas de los medios de cultivo utilizados, en la revista internacional: "Biologie du Sol"_T publicada en el Instituto Pasteur, con auspicios de la UNESCO.

Posteriormente, nuestro método de la película superficial con sílico-gel fue también someramente comunicado en sucesivos trabajos realizados sobre diversas etapas de un estudio taxonómico de bacterias nitrificantes y presentado a la Primera Conferencia Internacional de Cultivos Microbianos realizada en Tokio en 1968 y al X Congreso Internacional de Microbiología que se acaba de efectuar en México en 1970.

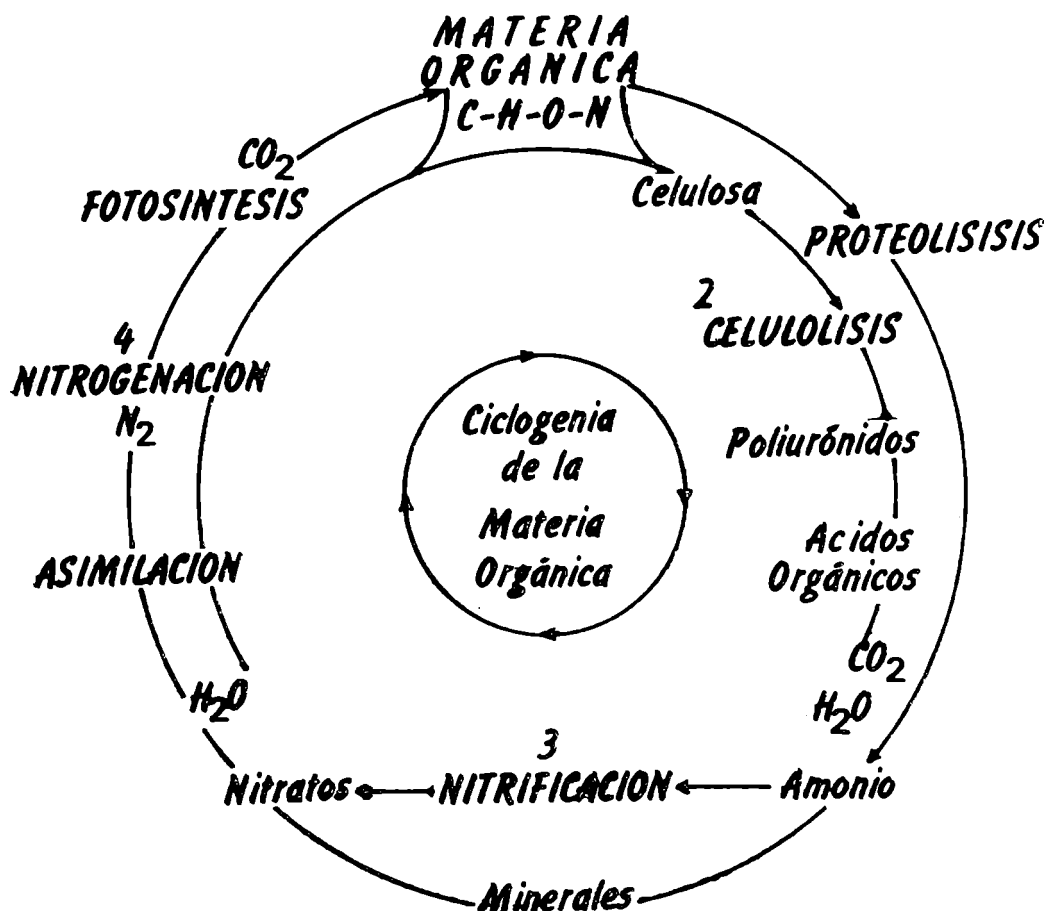
ni — APLICACIONES

Los fundamentos científicos y la metodología tecnológica de la microbiología del suelo, considerados de acuerdo con los principios ecológicos que se han expuesto, constituyen las bases en que deben apoyarse las aplicaciones prácticas, muchas de las cuales, bueno es recordarlo, carecen justamente de esas premisas, por haberse formado, en forma empírica, a través de los años, mediante el lento y na siempre eficaz sistema del acierto y error alternados.

Esbozar un programa de aplicaciones basado en serios fundamentos científicos y experimentales no es una tarea que pueda ni deba improvisarse, pero resulta imperativo procurar realizarlo en todo momento, a objeto de ir acumulando la experiencia necesaria para sostenerlo y mejorarlo, a medida que puedan irse comprobando sus aciertos o desaciertos del punto de vista práctico. En los países en desarrollo y especialmente en aquellos en los que la producción agrícola-ganadera forma el mayor volumen de su economía, las aplicaciones prácticas derivadas de las investigaciones científicas y tecnológicas constituyen una prioridad impostergable, cada vez más urgente en esta difícil situación económico-social por la que se está atravesando[^]

Por razones de tiempo, me veré obligado a super-sintetizar las referencias que. con respecto a este tópico considero necesario formular, abrigando la esperanza de que. en futuras oportunidades pueda« presentarse ocasiones para discutir, con la extensión y profundidad que merecen, cada uno de los puntos que me limitaré por ahora a tratar tan solo brevemente.

Para facilitar la exposición, se pasarán a continuación algunas proyecciones que servirán de ejemplos ilustrativos de los factores que interesa puntualizar a este respecto. En la primera proyección se muestra un esquema de lo que puede denominarse la “ciclogenia de la materia orgánica”, que ilustra diversos aspectos de suma importancia relativos a las transformaciones que sufre la materia orgánica en la naturaleza, los que deben ser tomados particularmente muy en cuenta, por tratarse de procesos naturales que, por encadenamientos sucesivos, gobiernan las transformaciones de sustancias y la provisión de nutrientes en el suelo-



Por simple que parezca el esquema, es ilustrativo puntualizar los lineamientos más importantes de esta ciclogenia, ya que de los mismos depende la exacta comprensión de las vías naturales en que pueden encauzarse los métodos más efectivos del manejo del suelo.

La descomposición de la materia orgánica se realiza por el proceso microbiano de la *Proteolisis*, que termina por desintegrarla en sucesivas etapas, hasta su total transformación en NH_3 - CO_2 - H_2O y compuestos minerales de P - S - K - Ca - Mg - etc. La celulosa, que forma aproximadamente el 50 % de la materia vegetal seca, se transforma por el proceso también microbiológico de la *Celulolisis*, con formación, en condiciones anaeróbicas, de algunos compuestos intermedios, como ácidos y, finalmente, CO_2 y H_2O y, por otra parte, en condiciones aeróbicas, con formación de sustancias de naturaleza coloidal, que confieren al suelo una estructura mejorada, sumamente favorable para la retención del agua, aumentándose así, notablemente, la capacidad de producción del suelo.

Las sales de amonio formadas como consecuencia de la proteolisis, son transformadas en nitratos, que constituye el principal nutriente nitrogenado de las plantas, mediante el proceso, también microbiológico, de la *Vitrificación*, cuya importancia agronómica ha sido reconocida y valorada en todas partes, aún antes de la iniciación de la agricultura científica.

Finalmente, otro proceso de naturaleza microbiana, la fijación del nitrógeno atmosférico o *Nitrogenación* viene a completar el cuadro de los procesos microbiológicos fundamentales que aportan las bases científicas necesarias para la explicación de los fenómenos naturales resultantes de las respectivas actividades de sus agentes específicos y sirven de apoyo para la formulación de procedimientos de manejo del suelo en los que puedan cumplirse, cada una de ellas, en condiciones óptimas.

El ciclo se cierra con la Asimilación de las fuentes nitrogenadas y minerales y con la Fotosíntesis, en que se capta el C inorgánico, recombinándose de nuevo la materia orgánica en las plantas.

Veremos ahora algunas de las más importantes aplicaciones que se basan en los procedimientos microbiológicos que acaban de enumerarse y que se han destacado ya como factores netamente favorables de la producción agropecuaria:

1er. Proceso- *Proteolisis*.

En las proyecciones que siguen se muestran algunos resultados de experiencias que se vienen realizando en la Estación Experimental de Rothamsted. Inglaterra, la más antigua en existencia, con sus famosas parcelas clásicas, en algunas de las cuales se siguen sembrando cultivos y usando fertilizantes, en forma continuada, desde hace ya más de 125 años.

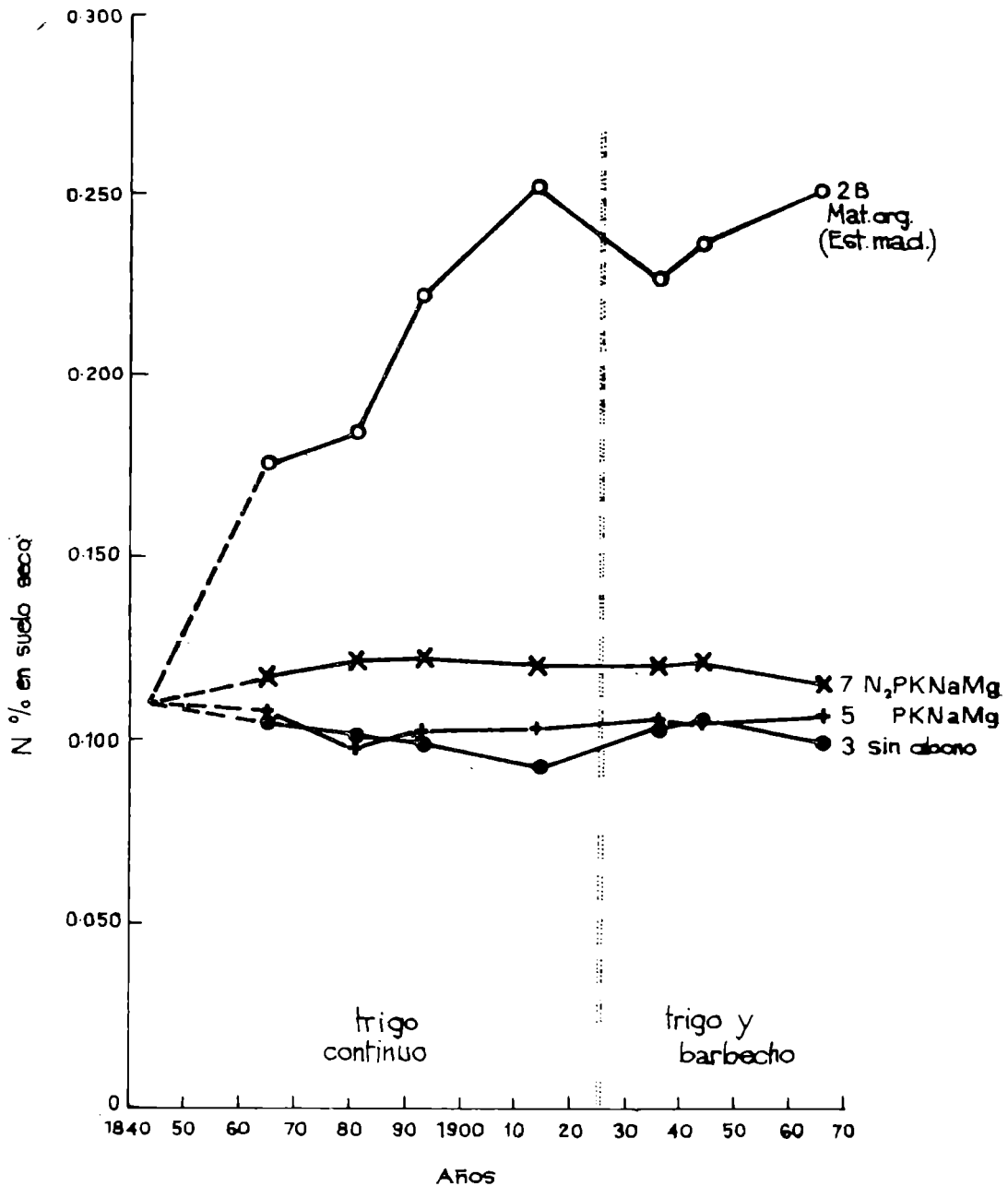
BROADBALK - PRIMERA COSECHA DE TRIGO - 184-4-

Rendimientos en grano y paja Quintales por Ha

T ratamientoi/Ha	Grano	Paja
Sin abono	10,3	12,5
35 tons. de estiércol	14,3	16,5
Cenizas de ídem	9,9	12,4
Fertilizantes minerales	11,3	12,9
Idem -f- 73 Kg Sulfato amonio	14,3	15,9

La proyección 2 se refiere a los rendimientos obtenidos en la primera cosecha de trigo en el campo de Broadbalk. de la que se infiere la obtención de los más altos rendimientos, que son semejantes en las parcelas abonadas con estiércol o con minerales más sulfato de amonio. no así en las demás parcelas: no abonada o abonada con minerales solo o con las cenizas provenientes de la misma cantidad de estiércol.

Es interesante hacer constar que, en parte, estos resultados dieron origen a la famosa controversia mantenida con Liebig, de la que surgió el concepto, sostenido por Lawes y Gilbert en Rothamsted, de que las plantas toman el N del suelo y no del aire en forma de amonio, como opinaba Liebig.



En la proyección 3 se muestra el gráfico que indica los niveles de N alcanzados en los suelos abonados con estiércol o con minerales, comparados con los no abonados, en toda la historia del citado campo, con monocultivo de trigo, durante 126 años, en el que resalta, nítidamente, la acumulación y progresivo aumento del N del suelo abonado con materia orgánica, que no se realiza en los no abonados o en los abonados con minerales.

RENDIMIENTO MEDIO DE TRIGO EN GRANO Y PAJA

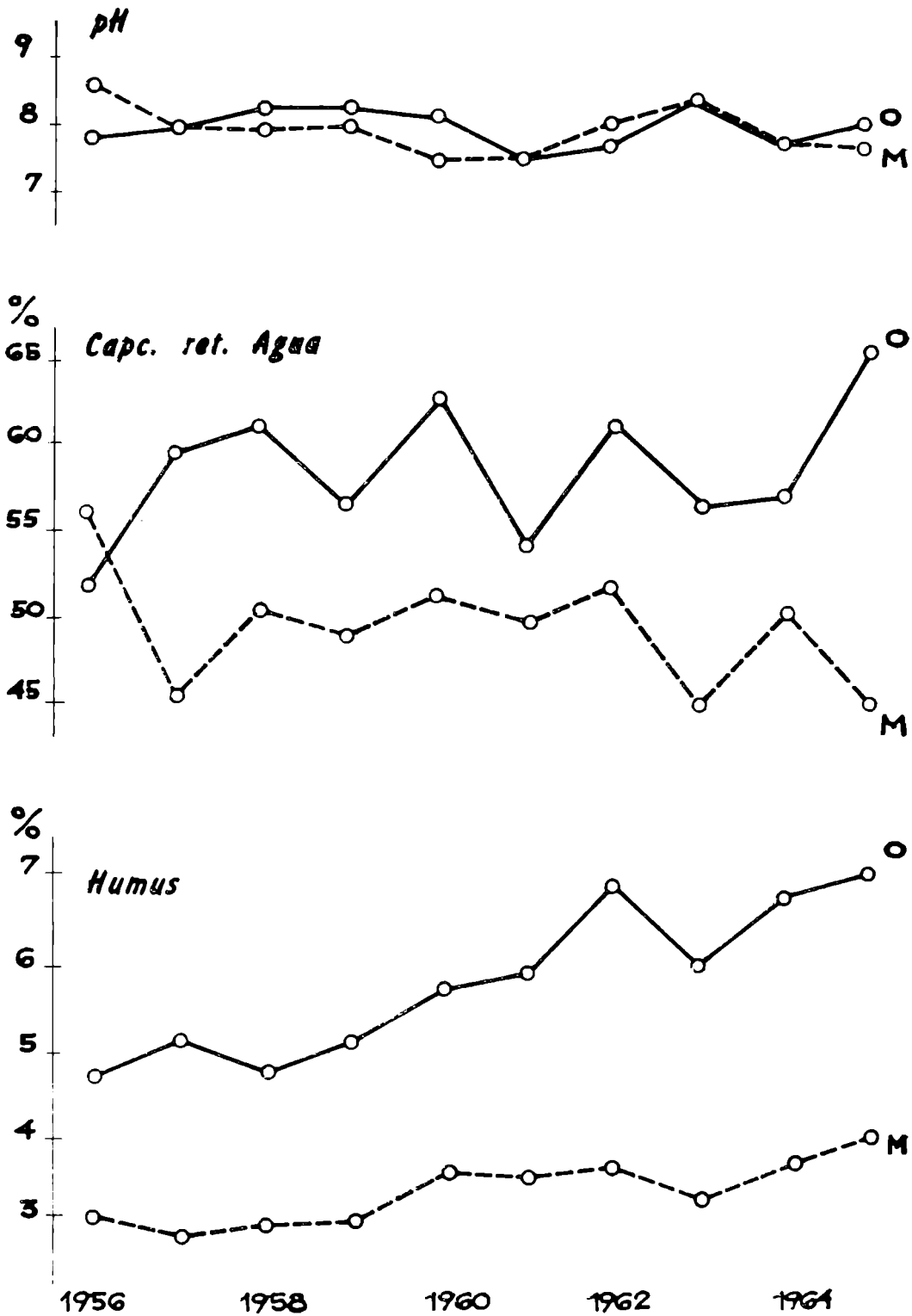
Quintales/Ha. - Broadbalk, 1852 - 1967

Parcela	Tratamiento	Grano	Paja
3	Sin abono	9,7	14,1
2 B	Estiércol	24,5	46,5
5	P K Na Mg	11,3	17,6
6	N, P R Na Mg	16,3	27,7
7	N ₂ P K Na Mg	22,2	41,7
8	N ₃ P K Na Mg	25,2	52,1
9	N _a * P K Na Mg	18,4	34,1
16	N ₂ * P K Na Mg	23,7	46,1
17718	N,	21,1	37,3

La número 4 consigna el promedio de los rendimientos, en grano y- en paja, obtenidos durante 115 años de monocultivo de trigo en el mismo campo de Broadbalk. en las diferentes parcelas: abonadas con estiércol, sin abonar y abonadas con diferentes mezclas de fertilizantes químicos, incluyendo en éstos, también, algunas con N inorgánico combinado.

Lo más importante del cuadro, consiste en la comprobación de que el abono permanente con estiércol mantiene rendimientos superiores a los de todas las combinaciones de fertilizantes químicos, salvo en el caso del empleo de sales de amonio en la cantidad máxima ensayada de 750 kilogramos por ha., puesto que, con la cantidad de 500 kg. por ha. más comúnmente usados, el N mineral, ya sea en forma amoniacal o nítrica, combinado con la gama completa de minerales. no alcanza a la producción obtenida con el uso de 35 toneladas de estiércol por hectárea-

Experimento de HAUGHLEY - Secciones: Orgánica y Mixta
Evolución de 10 años (1956-65)



Finalmente, en la proyección número 5, se muestra un gráfico tomado de uno de los anuarios de la “Asociación del Suelo” inglesa, referente a los experimentos de Haughley, donde se comparan algunas condiciones del suelo, durante 8 años, en dos de las secciones en que se hallan divididos: la Orgánica, donde se abona solo con materia orgánica vegetal y animal producida en la misma sección y la Mixta, en la que se emplean, además, fertilizantes químicos venidos de afuera.

Se observa, claramente, que la reacción del suelo es. aproximadamente. la misma en ambas secciones, pero no así la capacidad de retención de agua ni la cantidad de “humus” formada, que es netamente superior y aumenta en conjunto, con el tiempo, en las tierras abonadas con materia orgánica.

2do. Proceso: Celulolisis:

Este proceso reviste, para nosotros, suma importancia, no solo porque la celulosa alcanza alrededor del 50 % del peso de las plantas al estado seco, sino por haber sido el primero cuyo estudio científico de laboratorio se ha proyectado con éxito al gran cultivo, por obra de dos investigadores argentinos que hacen honor al país, uno de los cuales, el Ing. Sauberan. forma parte de esta Honorable Academia y el otro, el Ing. Molina ejerce la docencia en nuestra Facultad de Agronomía metropolitana.

De los dos tipos de transformación de la celulosa, la que se efectúa en condiciones aeróbicas forma sustancias de naturaleza coloidal y estructura poli-urónida que tiene el efecto, no solo de modificar muy favorablemente la estructura del suelo, disminuyendo o evitando, de este modo, los peligros de erosión, sino, lo que tiene también particular importancia agrícola, de aumentar su capacidad de retención de agua. Las grandes ventajas que han tenido en nuestro país las aplicaciones formuladas inicialmente por Molina en el laboratorio y extendidas luego al gran cultivo con el uso intensivo de rastros por Sauberan y Molina, se basan en esa propiedad aglutinante producida por las bacterias aerobias de la celulosa, unida al aporte de nutrientes: N - P - K, que la acompañan, de efectos decisivamente favorables en la producción agrícola.

Estimo oportuno hacer resaltar que. en los trabajos de Molina y de Sauberan, los fundamentos básicos que sustentan sus aplicaciones

prácticas, materializadas en general con el uso de rastros, de res-puestas en ocasiones espectaculares son. sencillamente, el efecto de los dos procesos microbiológicos que se acaban someramente de co-mentar: la Celulolisis y la Proteolisis con la formación de sustancias aglutinantes por transformación aeróbica de la celulosa en un caso y la formación de CO_2 por mineralización de la materia orgánica, con precipitaciones neutralizantes de bases alcalinas en el otro, procesos am-bos que. técnicamente fundados, han sido puestos en ejecución en grandes extensiones de cultivos, por primera vez solo en nuestro país y están llamando la atención en otros países de éste y de otros con-continentes. como he podido comprobarlo, personalmente, en el reciente X Congreso Internacional de Microbiología realizado en México en fegso pasado.

En condiciones anaeróbicas, por otra parte, la celulosa sufre también transformaciones microbiológicas que la convierten en ácidos orgánicos diversos: acético, propiónico, butírico, etc. y, finalmente, CO_2 y agua, ácidos que. naturalizados por las bases del suelo, pueden desempeñar un papel de primera sima importancia por su capacidad de servir como material orgánico, imprescindible para el cumplimiento del proceso de fijación del N y de cuya identidad y existencia en la naturaleza no se tienen aún conocimientos precisos, para ser utilizado por el grupo de bacterias fijadoras asimbióticas aerobias y anaerobias del N atmosférico, de los cuales la agricultura del futuro espera aún una contribución, en forma de aplicaciones prácticas eficientes, acorde con la trascendencia de ese proceso.

5er. Proceso-. Nitrificación:

Se alude a este proceso microbiológico después de los anteriores, no por su menor importancia, sino porque su desarrollo, del punto de vista científico, se encuentra menos avanzado y en consecuencia, sus aplicaciones prácticas son menos fácilmente manejables.

En mi laboratorio de la Facultad de Agronomía se está estudiando el grupo de bacterias de la nitrificación, considerado como “difícil”, con el método de cultivo de la doble capa de silico-gel anteriormente descrito y brevemente detallado, con resultados satisfactorios en los dos sentidos siguientes:

1⁹) *En el aspecto taxonómico:* se ha establecido, con absoluta seguridad, la existencia de 7 géneros de bacterias nitrificantes. fácil-

mente diferenciales, en lugar de los 2 (*AHtrosornonas* y *Nitrobacter*) generalmente citados en la literatura, los que fueron expuestos en un trabajo presentado a la Ira. Conferencia Internacional de Cultivos Microbianos realizada en Tokio, en 1968.

TAXONOMIA DE BACTERIAS NITRIFICANTES

FAMILIA: *NITROBACTERACEAE*

TRIBUS:

NITROSOBACTEREAE

NITROSOMONAS	Winogradsky, 1890	NITROSOGLOEA	H. Winogradsky, 1935
NITROSOCOCCUS	.. 1892	NITROSOBACTER	^
NITROSOCYSTIS	.. 1931	NITROSOVIBRIO	^
NITROSOSPIRA	.. 1931		

NITROSOBACTEREAE

NITROBACTER Winogradsky, 1892 NITROCYSTIS H. Winogradsky, 1935

El número de cultivos de nuestra colección, que es, actualmente, la más completa de su género en existencia, alcanza a unos 1.000 que incluyen de origen terrestre y acuático, algunos de éstos, marinos, cuyos caracteres morfológicos y tipos de colonias pudieron ser observados directamente y sin distorsión alguna con los métodos empleados. con la agradable sorpresa de haber no sólo corroborado todos los hallazgos de Winogradsky sino, además, haber encontrado dos nuevos géneros en nuestro país, uno de los cuales pude luego confirmar en Italia y. recientemente, también en Inglaterra.

2^p) *En el aspecto práctico:* se ha ideado y descrito un método microbiológico de laboratorio que permite diagnosticar deficiencias de nutrientes en el suelo, basado en la intensidad del proceso de nitrificación en muestras de tierras incubadas, sin y con agregado de fertilizantes nitrogenados amoniacales, seguido de la determinación cuantitativa de las bacterias nitrificadoras por el método de la doble capa de silico-gel ya descrito. La activación del proceso de nitrificación producido por el agregado de fertilizantes nitrogenados amoniacales, así como de calcio, aisladamente o reunidos, permite juzgar acerca del nivel de su disponibilidad en los suelos examinados y. con esta guía, proceder a su corrección con los métodos que se juzguen adecuados, posibles o económicos.

RENDIMIENTO MEDIO COMPARATIVO ENTRE 29 AÑOS CON SISTEMA
DE BARBECHO (1937-64) Y 10 AÑOS DE TRIGO CONTINUO (1916-25)

Quintale[^]/Ha de grano y paja

Años después del barbecho	Grano					Paja				
	1	2	3	4	Media	1	2	3	4	Media
de 1 año										
Sistema de barbecho										
' 1935-64)	26.7	22,0	19,7	20.0	21,1	49,6	38,9	35.5	36,0	40,0
Aumento % sobre										
trigo continuo	101	65	48	50	66	98	55	42		4460

La última diapositiva que se proyectará contiene los datos relativos a los rendimientos obtenidos con cultivos de trigo en la estación de Rothamsted, comparativamente entre el sistema de barbecho desnudo de 1 año cada 4 años de cultivo, y el de cultivo continuo, donde puede observarse el sensible aumento de rendimiento producido por el barbecho, que alcanza al 100 % en el 1er. año y perdura hasta con el 50 % en el cuarto año, después del año de barbecho. Este aumento. que sigue obteniéndose, reiteradamente, en todas partes, ha determinado que esta práctica agrícola haya sido adoptada universalmente como uno de los' métodos más simples y más eficaces de manejo del suelo, cuyos beneficios cabe atribuir al conjunto de actividades de los microorganismos del suelo, en primer término a las bacterias de la nitrificación, cuyo producto final, el nitrógeno nítrico, acumulado en el año. o período fraccionario de barbecho, queda a disposición del primer cultivo que le sigue, mostrando su efecto favorable. aún durante varios años consecutivos.

-1" Proceso: Nitrogenación:

El último proceso de naturaleza microbiana que se pasa a considerar brevemente es el de la fijación del nitrógeno atmosférico o nitrogenación. cuya importancia, no sólo del punto de vista científico, sino también por la magnitud de sus aplicaciones prácticas es. desde li3ce muchos años, universalmente reconocida.

Basta considerar el enorme beneficio que la producción agrícola recibe con la posibilidad de utilizar la fuente inagotable del elemento más valioso entre los nutrientes vegetales, que es el nitrógeno, obteniéndolo del aire, sin costo alguno, donde se encuentra en la consabida proporción de casi 4/5 partes de su volumen.

De las dos formas microbiológicas de fijación del nitrógeno atmosférico conocidas, la simbiótica, que se realiza con intervención de plantas leguminosas es, por mucho, la que ha alcanzado mayor relevancia y, tanto el uso de cultivos de *Rhizobium*, empleados como inoculantes radicícolas, como el cultivo de leguminosas y su frecuente utilización en las prácticas de rotaciones aconsejadas en todo tipo de métodos conservacionistas de manejo del suelo, para el mantenimiento y aún el aumento de su fertilidad, son hechos que han merecido un amplio reconocimiento en todas partes-

Numerosas entidades oficiales y privadas, institutos especializados, universidades y empresas industriales, de todos los países, incluido el nuestro, proveen cultivos seleccionados para la inoculación de leguminosas, con éxito variable, que depende de factores hoy día ya conocidos y manejables, de naturaleza microbiológica o genética que permite asegurar un alto grado de efectividad en su uso.

La provisión de una garantía en tal sentido, expedida por una entidad oficial, puede hacer mucho para impulsar la ventajosa práctica del empleo de inoculantes de leguminosas, como ya se ha hecho recientemente en el Uruguay y, probablemente no tardará en adoptarse también en nuestro país, facilitada por el uso de modernos aparatos de cromatografía de gases, prácticamente automáticos, en que pueden realizarse, con relativa facilidad, largas series de ensayos de plantas inoculadas, para la determinación cuantitativa de la enzima "nitrogenasa" que preside y mide el proceso de fijación del nitrógeno.

Por lo que respecta al proceso de fijación del nitrógeno por microorganismos libres, no simbióticos, los tres tipos conocidos, dotados de esa propiedad: las bacterias del género *Azotobacter* y afines, las Esquizofíceas o Algas azules, ambos aerobios y las bacterias anaerobias del tipo del *Clostridium Pasteurianum*, todos pueden tener importancia ocasional, en condiciones ecológicas favorables, en diversos tipos de suelos. No obstante, considerando la excepcional atracción que representa, como propósito de estudio, la posibilidad de disponer

de otros tipos de microorganismos fijadores activos en el suelo, aún en ausencia de leguminosas, ha hecho converger la atención de numerosos investigadores hacia este problema, a pesar de lo cual los resultados hasta ahora obtenidos no han sido aún convincentes.

Precisamente en situaciones como la que se está examinando, se impone utilizar la metodología desarrollada para aplicarla al estudio de la microbiología ecológica, la que, ya sea por desconocimiento o por creer más adecuado el empleo de los métodos clásicos, no suelen emplear muchos microbiólogos y no ha rendido aún. quizá por eso, Jos resultados que de ella pueden esperarse, en más de un problema crucial, como éste, de la provisión inexpensiva del nitrógeno necesario para la nutrición vegetal y, por ende, posiblemente, el factor clave capaz de brindar el ansiado incremento, en forma económica, de la producción agropecuaria.

A los procesos microbiológicos que se han tratado, deben agregarse otros, de cierta importancia en casos especiales, pero su consideración está ahora fuera de lugar, por razones de tiempo. Me limitaré. tan sólo, a mencionar los tres siguientes, con muy breves comentarios en cada caso.

1^º) *Micorizas*: a pesar de no conocerse bien su función en las plantas, se ha demostrado, en ocasiones, una acción favorable. Mi sucesor en la Cátedra de Microbiología Agrícola de la Facultad de Agronomía y Veterinaria de Buenos Aires, Prof. Ing- Agr. R. Halbin-ger. en unión con su colaborador Ing. E. Takacs, han obtenido diversos cultivos puros de hongos micoríticos y realizado experiencias demostrativas sobre su propagación en el laboratorio y su aplicación práctica en plántulas de pinos, en invernáculo y a campo, con resultados satisfactorios.

2^º) *Rizos jera*: aunque mucho se ha escrito sobre el efecto rizosférico. para demostrar la inter-influencia entre plantas y microorganismos que viven adosados a sus raíces, el estado actual del problema podrá juzgarse mejor con una ocurrente frase de un distinguido microbiólogo estadounidense, al expresar que: el problema de la rizosfera. consiste aún en saber “quien alimenta a quien”: “si el microbio a la planta o la planta al microbio”.

3^º) *Solubilización de fosfatos* inorgánicos insolubles y liberación del fósforo orgánico de sus compuestos: se han descripto microorga-

nismos capaces de realizar las citadas operaciones pero no se ha llegado aún al empleo de métodos que hayan demostrado su aplicabilidad práctica.

Al terminar esta disertación deseo referirme, finalmente, al más importante de los procesos microbiológicos del suelo que esperan todavía una solución aplicable en los cultivos a campo, que es, sin duda, la fijación del nitrógeno atmosférico realizada por bacterias libres, no simbióticas. Si se lograra materializar el funcionamiento de este proceso se obtendría una ayuda incalculable para impulsar, substancialmente, el aumento de la producción agropecuaria, que sólo parece factible de otra manera, en nuestra situación actual, mediante el empleo de todas las posibilidades ofrecidas por las prácticas agrícolas conservacionistas, de uso cada vez más frecuente en nuestras vastas zonas cultivables y, eventualmente, de fertilizantes químicos.

A este respecto encuentro oportuno citar dos frases proféticas de Winogradsky, pronunciadas a distancia de casi 20 años una de otra, quien, en su visión ideal de una “Agricultura del Porvenir” ’ afirmó que la misma “aprenderá a utilizar mejor el Azoe ofrecido por la naturaleza, no perdiendo el producto de la actividad del *Azotobacter*, sino buscando, más bien, los medios de aumentar su rendimiento; y que “esta agricultura del porvenir, aunque no se la conoce todavía, no hay razones para negar su posibilidad, a condición de que la Agronomía se ponga a la obra, guiada por la Microbiología”.

Quieran estas palabras del gran Maestro servir como un desafío de la moderna Microbiología Ecológica del Suelo, cuyo objetivo final puede sintetizarse como: “la utilización de las actividades naturales de los microorganismos, en beneficio del hombre”, pero acorde con los dos principios siguientes, de primordial importancia práctica que, a manera de mensaje, pueden anunciarse así: “Obtener el mayor rendimiento de la producción del suelo, compatible con el mejor mantenimiento de su fertilidad”, *sin lo cual* puede también afirmarse que, “en ningún lugar y en ninguna circunstancia podrá mantenerse una agricultura estable”.